



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2016년04월11일
 (11) 등록번호 10-1611102
 (24) 등록일자 2016년04월04일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
 G01L 5/00 (2006.01) G01L 1/00 (2006.01)
 G01N 29/04 (2006.01)
 (21) 출원번호 10-2014-0179504
 (22) 출원일자 2014년12월12일
 심사청구일자 2014년12월12일
 (65) 공개번호 10-2015-0099680
 (43) 공개일자 2015년09월01일
 (30) 우선권주장
 1020140020073 2014년02월21일 대한민국(KR)
 (56) 선행기술조사문헌
 JP3116298 B2*
 KR1020110136110 A*
 '경사입사 초음파에서 계면 접촉 음향 비선형성에 의해 발생한 고조파의 영상화', 운동석 외 3명, 비파괴검사학회지 32(4), 2012.8, p. 362-368.*
 JP06088758 A
 *는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
한국기술교육대학교 산학협력단
 충남 천안시 동남구 병천면 충절로 1600, 내 (한국기술교육대학교)
 (72) 발명자
김노유
 서울 서초구 서초대로 385, 7동 1103호 (서초동, 진흥아파트)
 (74) 대리인
이한욱, 이성렬, 이성준

전체 청구항 수 : 총 4 항

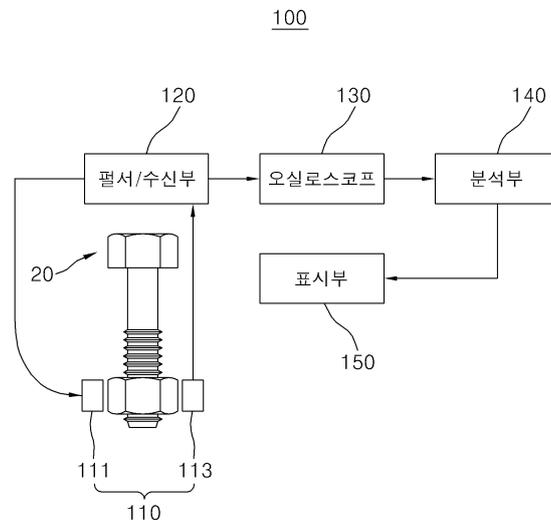
심사관 : 김수현

(54) 발명의 명칭 **비선형 초음파를 이용한 볼트 축력 측정 장치 및 방법**

(57) 요약

본 발명은 비선형 초음파를 이용한 볼트 축력 측정 장치 및 방법에 관한 것으로, 결합부재에 체결된 볼트/너트부의 너트 양쪽에 초음파용 센서를 부착하여 볼트의 축력을 측정하는 비선형 초음파를 이용한 볼트 축력 측정 장치에 있어서, 너트의 일측 접촉면에서 초음파를 송신하고 반대쪽 타측 접촉면에서 초음파를 수신하는 센서부와, 펄스 신호를 생성하여 센서부로 전송하고 다시 센서부에서 출력되는 비선형 초음파 신호를 수신하는 펄서/수신부와, 펄서/수신부에서 수신된 비선형 초음파 신호를 분석하여 2차 고조파를 분리하고 그 크기를 측정하는 분석부 및 상기 분석부에서 측정된 2차 고조파의 크기를 볼트 축력으로 출력하여 표시해주는 표시부를 포함하는 비선형 초음파를 이용한 볼트 축력 측정 장치를 제공한다.

대표도 - 도1



명세서

청구범위

청구항 1

결합부재에 체결된 볼트/너트부의 너트 양쪽 측면에 초음파용 센서를 부착하여 볼트의 축력을 측정하는 비선형 초음파를 이용한 볼트 축력 측정 장치에 있어서,

상기 너트의 일측 접측면에서 초음파를 송신하고 반대쪽 타측 접측면에서 초음파를 수신하는 센서부;와, 초음파 펄스 신호를 생성하여 상기 센서부로 전송하고 상기 초음파 펄스 신호가 상기 볼트/너트부를 관통하여 비선형 초음파 신호를 발생시키면 상기 센서부에 획득되고 이 획득된 비선형 초음파 신호를 수신하는 펄서/수신부;와, 상기 펄서/수신부에서 수신된 비선형 초음파 신호를 분석하여 2차 고조파를 분리하고 그 크기를 측정하는 분석부; 및 상기 분석부에서 측정된 2차 고조파의 크기를 볼트 축력으로 출력하여 표시해주는 표시부;를 포함하되,

상기 센서부는,

상기 너트의 일측 측면에 부착되어 초음파를 송신하는 초음파용 송신센서와 상기 송신센서와 대응되는 너트의 반대쪽 타측 측면에 부착되어 비선형 초음파를 수신하는 초음파용 수신센서를 포함하고,

상기 분석부는,

입력된 비선형 초음파 신호에서 상기 수신부의 송신센서에서 송신되는 기본 초음파에서 중심 주파수의 2배에 해당하는 2차 고조파를 분리해낸 후 그 크기를 측정하되, 아래의 수학식을 사용하여 산출된 2차 비선형 탄성계수와 상기 2차 고조파의 크기가 상기 볼트 및 너트의 체결력과 비례하는 것을 이용하여 볼트의 축력을 측정할 수 있는 것을 특징으로 하는 비선형 초음파를 이용한 볼트 축력 측정 장치.

$$K_2 = \frac{\partial^2 \sigma(u)}{\partial (u)^2}$$

이때,

K_2 : 2차 비선형 탄성계수

σ : 응력

u : 볼트와 너트면 사이의 거리

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 비선형 초음파를 이용한 볼트 축력 측정 장치는 상기 펄서/수신부와 상기 분석부 사이에 오실로스코프를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 비선형 초음파를 이용한 볼트 축력 측정 장치.

청구항 3

삭제

청구항 4

청구항 1에 있어서,

상기 펄서/수신부는 펄스신호를 생성하여 송신센서로 전송하는 펄서와 수신센서가 획득한 비선형 초음파 신호를 수신하는 수신부를 포함하되, 상기 센서부의 송신센서 및 수신센서와 각각 연결되는 것을 특징으로 하는 비선형

초음파를 이용한 볼트 축력 측정 장치.

청구항 5

삭제

청구항 6

결합부재에 체결된 볼트와 너트에서 너트의 대응되는 양 측면을 계측점으로 지정하는 계측점 지정단계(S10);와, 상기 너트의 양 측면에 지정된 상기 계측점에 각각 초음파용 송신센서와 수신센서를 부착하는 센서 부착단계(S20);와, 상기 송신센서에서 송신된 초음파가 체결된 볼트와 너트를 관통한 후 비선형 초음파를 발생시키면 이 비선형 초음파를 상기 수신센서가 수신하는 투과파 수신단계(S30);와, 펄서/수신부가 수신센서에서 획득한 비선형 초음파인 투과파를 수신한 후, 오실로스코프를 거쳐 분석부로 전송하는 펄서/수신부, 오실로스코프 및 분석부 전송단계(S40);와, 분석부가 전송된 비선형 초음파인 투과파에서 2차 고조파를 분리해내고 그 크기를 측정하는 2차 고조파 분리 및 측정단계(S50); 및 분석부에서 측정된 2차 고조파의 크기를 모니터 등과 같은 표시부에 볼트 축력으로서 출력하는 표시부 출력단계(S60);를 포함하되,

상기 2차 고조파 분리 및 측정단계(S50)는,

상기 분석부가, 입력된 비선형 초음파 신호에서 상기 수신부의 송신센서에서 송신되는 기본 초음파에서 중심 주파수의 2배에 해당하는 2차 고조파를 분리해낸 후 그 크기를 측정하되, 아래의 수학적식을 사용하여 산출된 2차 비선형 탄성계수와 상기 2차 고조파의 크기가 상기 볼트 및 너트의 체결력과 비례하는 것을 이용하여 볼트의 축력을 측정할 수 있는 것을 특징으로 하는 비선형 초음파를 이용한 볼트 축력 측정 방법.

$$K_2 = \frac{\partial^2 \sigma(u)}{\partial (u)^2}$$

이때,

K_2 : 2차 비선형 탄성계수

σ : 응력

u : 볼트와 너트면 사이의 거리

청구항 7

삭제

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 볼트 축력 측정 장치 및 방법에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 비선형 초음파를 이용한 볼트 축력 측정 장치 및 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 각종 건축 및 토목 구조물의 체결을 위해 결합할 부재를 고력볼트로 강하게 조여 붙이면 볼트에는 축방향의 인장력이 작용하는데 이 인장력을 볼트축력이라고 한다. 이러한 볼트축력을 측정하여 고력볼트의 결합상태의 검사 및 유지 보수를 하는 것은 각종 건축 및 토목 구조물의 안전을 위해 필수적이다.

[0003] 최근에는 이러한 고력볼트의 볼트축력을 측정하는 방법으로 초음파를 이용한 방법이 주로 사용되고 있다. 초음파를 이용한 볼트축력 측정방법에서 종래에 사용되고 있는 방법은 벌크 초음파를 이용하여 측정된 볼트의 길이 변형률로 축력을 산정하는 벌크 초음파 축력 측정 방법이 있다.

[0004] 벌크 초음파 측정 방법은 볼트 헤드부에서 수직으로 입사된 초음파가 볼트 내를 진행하여 볼트 끝단에서 반사되

어 온 반사파의 비행시간을 측정하여 볼트 축력을 계산한다. 원리는 볼트가 축력을 받으면 늘어나고 이 늘어난 길이에 의해 반사파의 비행시간이 길어지는 것을 이용하여 축력을 간접적으로 계측한다. 따라서 초기의 축력이 가해지기 전의 볼트길이를 알고 있어야만 늘어난 길이를 초음파로 측정함으로써 변형량을 알 수 있게 되고 기계적 물성치(탄성계수)를 이용하여 볼트의 축력을 계산할 수 있다. 또한 초음파 센서를 장착하기 위해서 통상 볼트 헤드부를 평탄하게 가공하는 일이 요구되는데 현실적이지 못하다.

- [0005] 그러므로 이러한 벌크 초음파 축력 측정 방법의 문제점은 볼트 체결 전의 볼트의 길이를 알고 있어야 하고 볼트 헤드부를 일부 가공해야 하는 문제점이 있다. 즉 이미 체결된 볼트의 축력을 측정할 수 없게 된다.
- [0006] 현재 제안하는 기술에서는 이러한 초기 길이를 측정하는 문제점을 해결하고 초음파 센서 부착에 따른 볼트의 변형이 필요 없는 새로운 기술이다.
- [0007] 관련 선행기술로는 한국등록특허 10-1190024호(등록일: 2012. 10. 05)가 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0008] 본 발명은 이와 같은 문제를 해소하기 위해 제안된 것으로, 비선형 초음파를 너트부에 사용하여 볼트의 축력을 측정할 수 있는 비선형 초음파를 이용하여 볼트의 축력을 측정하는 비선형 초음파를 이용한 볼트 축력 측정 장치 및 방법을 제공하기 위한 것이다.
- [0009] 본 발명이 이루고자 하는 기술적 과제들은 이상에서 언급한 기술적 과제들로 제한되지 않는다.

과제의 해결 수단

- [0010] 상기 과제를 달성하기 위한 본 발명의 비선형 초음파를 이용한 볼트 축력 측정 장치는 너트의 일측 접촉면에서 초음파를 송신하고 반대쪽 타측 접촉면에서 초음파를 수신하는 센서부와, 펄스 신호를 생성하여 센서부로 전송하고 다시 센서부에서 출력되는 비선형 초음파 신호를 수신하는 펄서/수신부와, 펄서/수신부에서 수신된 비선형 초음파 신호를 분석하여 2차 고조파를 분리하고 그 크기를 측정하는 분석부 및 분석부의 분석결과를 출력하여 표시해주는 표시부를 포함할 수 있다.
- [0011] 구체적으로 비선형 초음파를 이용한 볼트 축력 측정 장치는 펄서/수신부와 분석부 사이에 오실로스코프를 더 포함할 수 있다.
- [0012] 또한, 센서부는 초음파를 송신하는 초음파용 송신센서와 송신센서와 대응되는 너트의 반대쪽 타측에 부착되는 초음파용 수신센서를 포함하되, 상기 수신센서는 상기 송신센서로부터 투과되는 비선형 초음파에서 처음 발생된 초음파의 중심 주파수의 2배에 해당하는 고조파 성분을 수신할 수 있도록 하는 것을 특징으로 할 수 있다.
- [0013] 또한, 펄서/수신부는 펄스신호를 생성하여 송신센서로 전송하는 펄서와 수신센서로부터 획득된 비선형 초음파 신호를 수신하는 수신부를 포함하되, 상기 센서부의 송신센서 및 수신센서와 각각 연결되는 것을 특징으로 할 수 있다.
- [0014] 또한, 분석부는 입력된 비선형 초음파 신호에서 처음 발생된 초음파의 중심 주파수의 2배에 해당하는 2차 고조파를 분리해낸 후 그 크기를 측정하되, 볼트와 너트의 접촉면의 압력에 비례하는 2차 고조파의 크기를 볼트 축력으로 인지되도록 하는 것을 특징으로 할 수 있다.
- [0015] 또한, 상기 과제를 달성하기 위한 본 발명의 비선형 초음파를 이용한 볼트 축력 측정 방법은, 결합부재에 체결된 볼트와 너트에서 너트의 대응되는 양 측면을 계측점으로 지정하는 계측점 지정단계(S10)와, 너트의 양측면에 지정된 계측점에 각각 초음파용 송신센서와 수신센서를 부착하는 센서 부착단계(S20)와, 볼트가 너트의 회전에 의해 축력이 작용하여 나사산은 서로 접촉하면서 압축되고 송신센서에서 발생된 초음파가 나사산이 접촉되는 압축면을 통과하면서 발생된 비선형 초음파를 수신센서가 수신하는 투과파 수신단계(S30)와, 펄서/수신부가 수신센서로 수신된 비선형 초음파인 투과파를 수신한 후, 오실로스코프를 거쳐 분석부로 전송하는 펄서/수신부, 오실로스코프 및 분석부 전송단계(S40)와, 분석부가 전송된 비선형 초음파인 투과파에서 2차 고조파를 분리해내고 그 크기를 측정하는 2차 고조파 분리 및 측정단계(S50) 및 분석부의 측정결과를 모니터 등과 같은 표시부에 출

력하는 표시부 출력단계(S60)를 포함할 수 있다.

[0016] 또한, 2차 고조파 분리 및 측정단계(S50)에서, 상기 분석부는 입력된 비선형 초음파 신호에서 처음 발생된 초음파의 중심 주파수의 2배에 해당하는 2차 고조파를 분리해낸 후 그 크기를 측정하되, 2차 고조파의 크기가 볼트 및 너트부의 체결력과 비례하므로 볼트의 축력을 측정할 수 있도록 하는 것을 특징으로 하는 비선형 초음파를 이용한 볼트 축력 측정 방법.

발명의 효과

[0017] 이상에서 설명한 바와 같이 본 발명은 비선형 초음파(nonlinear ultrasound)를 너트부에 사용하기 때문에 볼트와 너트가 결합 부재에 체결되기 전의 볼트의 길이를 알고 있지 않아도 체결된 볼트의 축력을 측정할 수 있는 효과가 있다.

[0018] 또한, 본 발명은 평면 상태의 너트부 표면에서 초음파를 발생시키므로 볼트의 축력을 측정하기 위해 별도의 볼트 가공이 필요하지 않아 간편하게 볼트 축력을 측정할 수 있는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

[0019] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 비선형 초음파를 이용한 볼트 축력 측정 장치를 개략적으로 나타낸 구성도이다.

도 2는 도 1에 도시된 볼트와 너트에 대한 단면도이다.

도 3은 본 발명의 실시예에 따른 송신되는 초음파와 볼트와 너트를 투과한 후 나타난 비선형 초음파 중 2차 고조파를 개략적으로 나타낸 도면

도 4는 본 발명의 실시예에 따른 고체의 접촉면에서의 응력과 변위의 관계 그래프를 나타낸 도면이다.

도 5는 본 발명의 실시예에 따른 비선형 초음파를 이용한 볼트 축력 측정 방법을 나타낸 순서도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0020] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예를 상세하게 설명한다. 도면들 중 동일한 구성요소들은 가능한 어느 곳에서든지 동일한 부호로 표시한다. 또한 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있는 공지 기능 및 구성에 대한 상세한 설명은 생략한다.

[0021] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 비선형 초음파를 이용한 볼트 축력 측정 장치를 개략적으로 나타낸 구성도로서, 초음파를 이용한 볼트 축력 측정 장치(100)는, 결합부재(10)에 체결되고 볼트(21)와 너트(23)로 구성되는 볼트/너트부(20), 너트(23)의 일측 접촉면에서 초음파를 송신하고 반대쪽 타측 접촉면에서 초음파를 수신하는 센서부(110), 펄스 신호를 생성하여 센서부(110)로 전송하고 다시 센서부(110)에서 출력되는 비선형 초음파 신호를 수신하는 펄스/수신부(120), 펄스/수신부(120)에서 수신된 비선형 초음파 신호를 분석하여 2차 고조파를 분리하고 그 크기를 측정하는 분석부(140) 및 분석부(140)의 분석결과를 볼트 축력으로 출력하여 표시해주는 표시부(150)를 포함한다.

[0022] 볼트/너트부(20)는 볼트축력의 측정대상으로서 결합부재(10)는 이러한 볼트(21)와 너트(23)에 의하여 강하게 조여 붙여지며, 현장에서는 각종 구조물의 체결에 쓰이는 고력볼트가 이에 해당된다. 본원에서는 결합된 상태의 볼트/너트부(20)에 별도의 조작을 하지 않고서도 너트(23)의 표면 접촉만으로 볼트축력을 측정할 수 있도록 한다.

[0023] 센서부(110)는 볼트/너트부(20)가 결합된 상태에 있을 때, 너트의 일측 접촉면에 부착되어서 초음파를 송신하는 송신센서(111)와 대응되는 너트의 반대쪽 타측 접촉면에 부착되어서 초음파를 수신하는 수신센서(113)를 포함한다.

[0024] 송신센서(111)는 특정의 중심 주파수의 초음파를 너트(23)를 관통하여 대응되는 너트(23)의 반대쪽으로 보내면, 수신센서(113)가 송신센서(111)의 반대쪽에서 투과된 초음파를 수신한다. 이 때 수신센서(113)는 송신센서(111)로부터 전송되는 비선형 초음파의 고조파 성분 중에서 송신되는 기본 중심 주파수의 2배수의 중심 주파수에

해당하는 고조파를 수신할 수 있도록 구성된다.

- [0025] 펄서/수신부(120)는 펄스신호를 생성하여 송신센서(111)로 전송하는 펄서(121) 및 수신센서(113)로부터 획득된 비선형 초음파 신호를 수신하는 수신부(123)를 포함하고 센서부(110)의 송신센서(111) 및 수신센서(113)와 각각 연결된다. 펄서(121)는 펄스신호를 생성하여 센서부(110)의 송신센서(111)에 전송하고 수신부(123)는 체결된 볼트(21)와 너트(23)를 투과하여 수신센서(113)에서 포착된 비선형 초음파 신호를 수신한다.
- [0026] 오실로스코프(130)는 펄서/수신부(120)에서 포착된 비선형 초음파 신호를 시각으로 확인 할 수 있도록 펄서/수신부(120)의 출력측에 연결될 수 있다. 또한, 오실로스코프(130)는 입력되는 비선형 초음파 신호를 시각으로 보여줄 수 있을 뿐 아니라 실시간으로 일정분량을 저장할 수 있다.
- [0027] 분석부(140)는 오실로스코프(130)와 연결되어서 펄서/수신부(120)에서 오실로스코프(130)를 거쳐 출력되는 비선형 초음파 신호를 분석하여 2차 고조파를 분리해낸 후, 그 크기를 측정하고 결과를 출력한다. 분석부(140)는 CPU가 장착된 컴퓨터일 수 있다.
- [0028] 표시부(150)는 앞서의 분석부(140)에서 측정되고 분석된 결과들을 수신하여 모니터 등과 같은 표시장치를 통하여 외부로 인식 가능하도록 출력하게 된다.
- [0029] 도 2와 도3은 도 1에 도시된 볼트(21)와 너트(23)에 대한 단면도와 송신되는 초음파가 볼트(21)와 너트(23)를 투과한 후에 비선형 초음파로 변형되는데 그 변형된 투과파의 고조파 중에서 2차 고조파를 개략적으로 나타낸 도면이다.
- [0030] 먼저, 도 2를 참조하면, 볼트(21)와 너트(23)의 체결부에서 볼트(21)가 너트(23)의 회전에 의해 조여 붙어지면 볼트(21)에는 축방향으로 축력이 작용하여 볼트(21)와 너트(23)의 나사산은 서로 접촉하면서 압축된다(도 2의 확대도 참조). 이때, 이 압축면을 통과하는 초음파는 비선형 초음파를 발생시키는데, 이와 같은 비선형 초음파는 송신센서(111)의 반대쪽에 장착된 수신센서(113)에 의해 포착된다.
- [0031] 한편, 비선형 초음파란 기존의 초음파 기술에서 사용하는 선형 초음파에 상대되는 초음파로서, 그 특성에 있어서 선형 초음파는 입력되는 초음파의 전과거리에 따른 선형함수의 특성을 가지는 반면 비선형 초음파는 비선형 특성을 가지게 된다. 다시 말해 선형초음파는 진행거리에 따라 초음파의 크기가 감쇄하기는 하나 파형의 모양은 변화하지 않지만 비선형 초음파는 거리에 따라 초음파 파형이 변화한다.
- [0032] 통상 일반적인 탄성 재료내에서 초음파는 선형적 전파특성을 가지므로 비선형 초음파가 발생되지 않는다고 가정하여도 무방하지만, 특별한 경우에 대해서는 탄성체내에서도 비선형 초음파가 발생한다. 이 경우 중 대표적인 경우가 본 발명에 실시예에서와 같이 볼트(21)와 너트(23)가 결합부재(10)에 조여 붙어져 결합됨으로써 각각의 나사산이 서로 접촉하면서 압축되는 것과 같은 경우이다. 이때가 바로 두 탄성 고체가 접촉하는 접촉면을 초음파가 통과하면서 탄성체내에서도 비선형 초음파가 발생하는 경우이다(도 2 확대도 참조).
- [0033] 이러한 고체 접촉면에서는 접촉계면에 작용하는 응력과 변위의 관계가 고체의 재료자체가 탄성체라고 하더라도 상당한 정도의 비선형 특성을 보이는데, 이와 같이 비선형 특성을 갖는 계면에 초음파를 입사시키면 반사파나 투과파는 비선형 초음파를 발생시키게 된다.
- [0034] 여기에서 비선형 초음파의 특성은 다양하지만 그 중에서도 접촉 고체면에서 발생하는 비선형 초음파의 가장 중요한 특성중의 하나는 단일 주파수의 선형 초음파가 입사되더라도 투과된 초음파는 같은 주파수 성분은 물론 그것의 2배수, 3배수, 4배수 등의 주파수 성분을 가지는 비선형 초음파를 발생시킨다는 것이다. 이것을 기본 주파수에 대해 고조파 성분(super-harmonic component)라고 하는데 그 중에서도 2배수 성분이 가장 크기 때문에 2배수 성분의 주파수가 제일 중요하다.
- [0035] 이러한 볼트(21)와 너트(23)를 투과한 비선형 초음파를 수신센서(113)가 포착하고 펄서/수신부(120)가 수신한 다음 분석부(140)로 전송한다. 분석부(140)는 수신된 신호를 푸리에 변환하여 특정 주파수의 2차 고조파를 분리한다. 즉, 맨 처음 발생된 초음파의 특정 중심 기본 주파수보다 두 배에 해당하는 주파수의 2차 고조파를 필터링하여 분리해 내게 된다.
- [0036] 도 3을 참조하면, 볼트(21)와 너트(23)가 결합부재(10)에 체결되고 센서부(110)가 너트(23)의 일측면과 대응되는 너트(23)의 반대편에 각각 부착된 상태의 단면도를 도시하였다. 또한 볼트(21)와 너트(23)의 나사산의 접촉계면의 확대도를 도시하였다.
- [0037] 여기서, 볼트(21)와 너트(23)를 결합부재(10)에 조여 붙이면 각각의 나사산에 있어서 두 계면의 접촉압력이 높

아지고 이에 따라 발생하는 비선형 초음파의 2차 고조파(2배 주파수)의 에너지도 같이 증가한다. 그 이유는 접촉 면적이 커진 이유도 있지만 2차 고조파의 크기는 접촉강성에 비례하는 이론적 특성이 있기 때문이다.

- [0038] 그렇기 때문에, 2차 고조파를 분석부(140)에서 필터링 하여 그 크기를 측정하게 되면, 그 2차 고조파의 크기는 볼트(21)와 너트(23)의 체결력과 비례하므로 결과적으로 볼트(21)의 축력을 측정할 수 있게 된다.
- [0039] 즉, 본 발명에서는 이러한 2차 고조파의 크기가 접촉계면의 압력에 비례한다는 물리적 특성을 체결된 볼트(21)와 너트(23)의 나사산 접촉계면에 응용하여 볼트(21)의 축력을 측정하게 되는 것이다.
- [0040] 이하에서는 상술한 바와 같이 2차 고조파의 크기 및 볼트(21) 축력의 독립변수가 되는 접촉계면에서의 압력(P)이 볼트(21)와 너트면의 거리(u)에 따라서 어떻게 변화하는지 살펴보도록 하겠다.
- [0041] 여기서 압력(P)은 볼트(21) 및 너트면에 하중을 가했을 때 그 크기에 대응하여 발생하는 접촉계면에서의 응력(σ :stress)의 크기로서 살펴보도록 한다.
- [0042] 도 4는 본 발명의 실시예에 따른 접촉계면에서 볼트(21)와 너트면의 거리를 변위(u)로 하여 그에 따른 응력(σ)의 크기를 나타내는 그래프 및 볼트(21)와 너트면의 접촉계면 측정위치를 개략적으로 나타낸 도면으로서, 왼쪽 그래프에서 가로축은 접촉계면에서의 볼트와 너트면의 거리를 나타내는 변위(u)축이고, 세로축은 변위(u)에 따른 응력(σ)을 나타내는 응력축이며, 오른쪽 그림은 볼트와 너트면의 접촉계면에서 압력(P_0)이 가해지는 방향과 변위(u)를 측정하는 부위(Z)를 개략적으로 도시한 것이다.
- [0043] 왼쪽 그래프에서 볼트(21)와 너트면 사이의 거리(u)가 압력(P)에 의하여 변화할수록 응력(σ)의 크기는 비례하여 증가하고 그 증가율도 변위(u)에 따라 점점 커짐을 알 수 있다. 이러한 응력(σ)의 증가율(K_1)과 그 변화율(K_2)은 아래의 수식으로 표현된다.

수학식 1

$$\frac{\partial \sigma(u)}{\partial (u)} = K_1 \frac{\partial^2 \sigma(u)}{\partial (u)^2} = K_2$$

- [0044]
- [0045] 여기서, K_1 은 응력(σ)의 증가율로서 변위(u_0)에 해당하는 곡선 그래프상의 점에서 접선의 기울기에 해당하는 응력과 변형율의 1차 선형 탄성계수가 되고, K_2 는 2차 비선형 탄성계수가 된다.
- [0046] 이하에서는, 본 발명의 실시예에 따른 비선형 초음파를 이용한 볼트 축력 측정 방법에 대하여 설명하기로 한다.
- [0047] 도 5에 도시된 순서도를 참조하면, 본 발명의 일실시예에 따른 비선형 초음파를 이용한 볼트 축력 측정 방법은, 계측점 지정단계(S10)와, 센서 부착단계(S20)와, 투과파 수신단계(S30)와, 펄서/수신부, 오실로스코프 및 분석부 전송단계(S40)와, 2차 고조파 분리 및 측정단계(S50) 및 표시부 출력단계(S60)를 포함할 수 있다.
- [0048] 계측점 지정단계(S10)는 결합부재(10)에 체결된 볼트(21)와 너트(23)에서 너트(23)의 일측면과 대응되는 반대쪽의 타측면을 계측점으로 지정하는 단계이다.
- [0049] 센서 부착단계(S20)는 너트(23)의 양측면에 지정된 계측점에 각각 초음파용 송신센서(111)와 수신센서(113)를 부착하는 단계이다.
- [0050] 투과파 수신단계(S30)는 송신센서(111)에서 송신되는 초음파가 체결된 볼트(21)와 너트(23)를 관통할 때 볼트(21)와 너트(23)의 접촉면을 통과하게 되면 비선형 초음파를 발생시키고, 이 비선형 초음파인 투과파를 수신센서(113)가 수신하는 단계이다.
- [0051] 여기서 수신센서(113)는 앞서의 설명에서와 같이 송신센서(111)로부터 전송되는 비선형 초음파의 고조파 성분 중에서 송신되는 기본 중심 주파수의 2배수의 중심 주파수에 해당하는 고조파를 수신할 수 있다.
- [0052] 펄서/수신부(120), 오실로스코프(130) 및 분석부(140)로의 전송단계(S40)는 수신센서(113)에서 획득된 비선형 초음파인 투과파를 펄서/수신부(120)가 수신한 후, 오실로스코프(130)를 거쳐 분석부(140)로 전송하는 단계이다.

[0053] 2차고조파 분리 및 측정단계(S50)는 분석부(140)가 전송된 비선형 초음파인 투과파를 푸리에 변환하여 맨 처음의 기본 초음파보다 주파수가 2배가 되는 2차 고조파를 분리해내고 그 크기를 측정하는 단계이다. 이때 2차 고조파의 크기가 볼트의 축력과 대응된다.

[0054] 표시부 출력단계(S60)는 분석부(140)에서 측정한 2차 고조파의 크기를 모니터 등과 같은 표시부(150)에 볼트의 축력으로서 출력하는 단계이다.

[0055] 본 발명에 의하면 비선형 초음파(nonlinear ultrasound)를 볼트/너트부(20)의 너트(23)에 사용함으로써 볼트의 축력을 측정하는 기술이기 때문에 선형 초음파를 사용하는 볼트의 축력을 측정하는 기술에서처럼 볼트와 너트를 결합부재(10)에 체결하기 전의 볼트의 길이를 알 필요가 없으며, 평면 상태의 너트 표면에서 초음파를 송수신하므로 측정을 위해 별도로 볼트의 가공이 필요 없다는 이점이 있다.

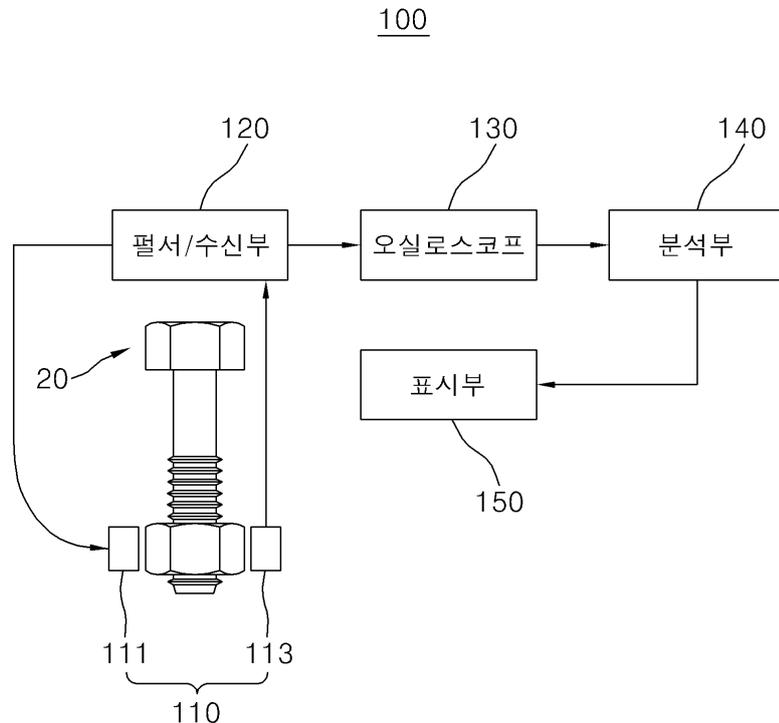
[0056] 상기와 같은 비선형 초음파를 이용한 볼트 축력 측정 장치 및 방법은 위에서 설명된 실시예들의 구성과 작동 방식에 한정되는 것이 아니다. 상기 실시예들은 각 실시예들의 전부 또는 일부가 선택적으로 조합되어 다양한 변형이 이루어질 수 있도록 구성될 수도 있다.

부호의 설명

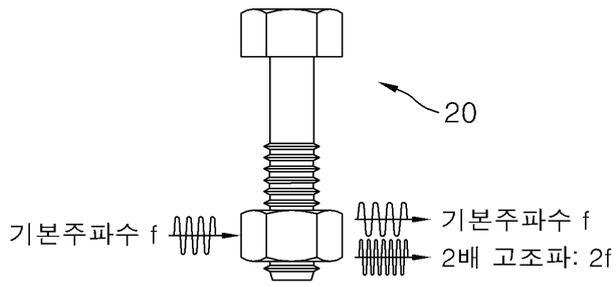
- | | | |
|--------|-------------------|--------------|
| [0057] | 10 : 결합부재 | 20: 볼트/너트부 |
| | 100 : 볼트 축력 측정 장치 | 110 : 센서부 |
| | 120 : 펄서/수신부 | 130 : 오실로스코프 |
| | 140 : 분석부 | 150 : 표시부 |

도면

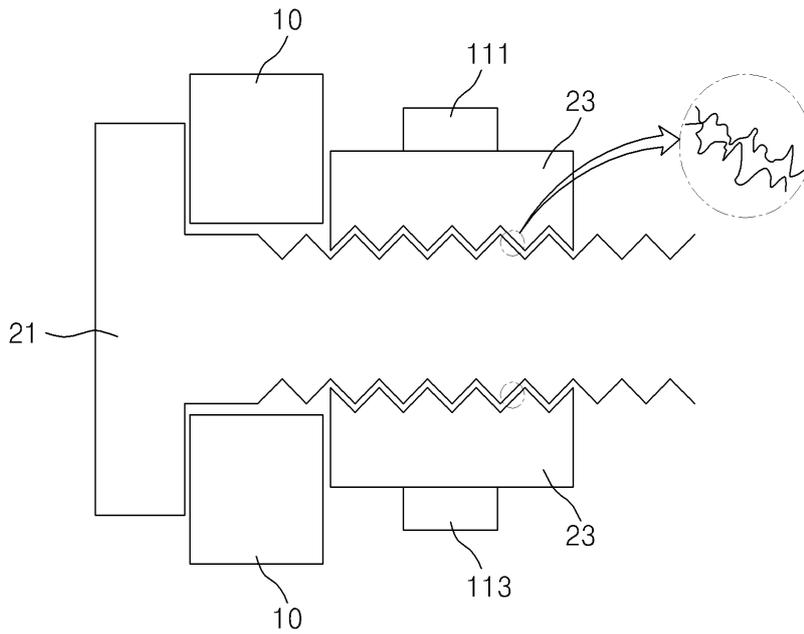
도면1



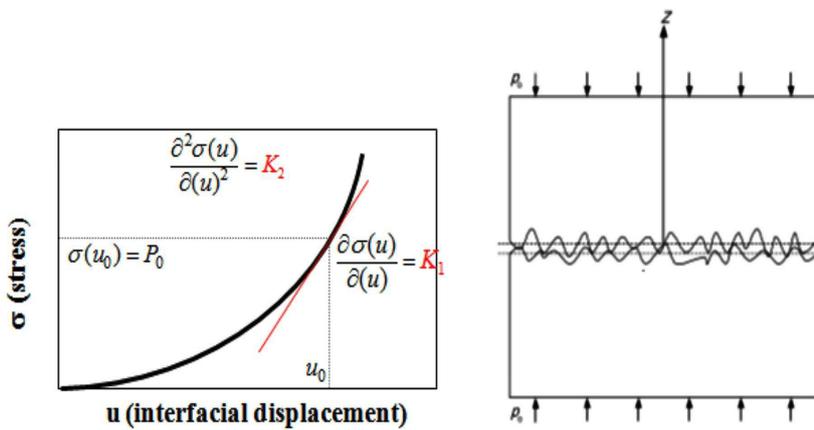
도면2



도면3



도면4



도면5

